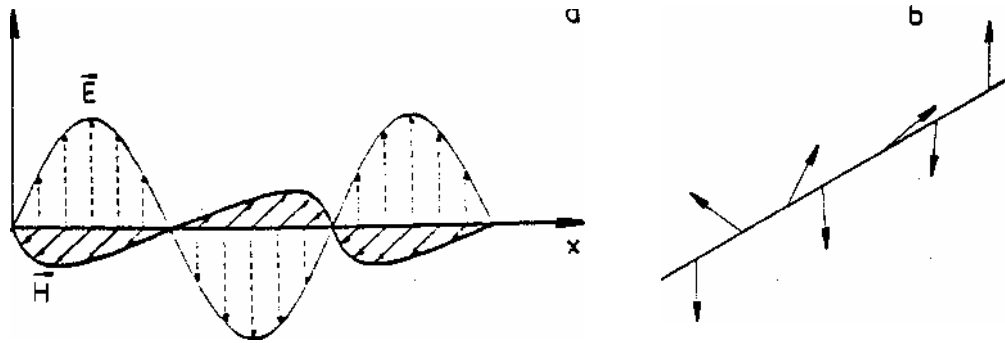


EFEKT POKELSA I MODULACJA WIĄZKI LASEROWEJ.

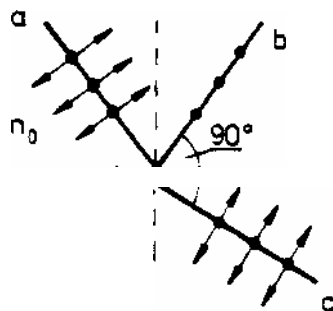
Sprawdzanie prawa Malusa

Światło jest falą elektromagnetyczną o długości z przedziału 400 - 800 nm. Fale elektromagnetyczne o długości większej od 800 nm nazywane są promieniowaniem podczerwonym, natomiast fale krótsze od 400 nm promieniowaniem ultrafioletowym. Fala elektromagnetyczna jest falą poprzeczną przy czym kierunek zmian pola elektrycznego jest prostopadły do kierunku zmian pola magnetycznego. Na rys. 1 a przedstawiono schematycznie kierunek (x) rozchodzenia się liniowo spolaryzowanej fali oraz kierunki w których zachodzą zmiany pola elektrycznego E i magnetycznego H.



Rys. 1 Wzajemna orientacji kierunków zmian pola elektrycznego E i magnetycznego H fali elektromagnetycznej (a) oraz schematyczny obraz kierunków drgań wektora elektrycznego dla wiązki niespolaryzowanej (b)

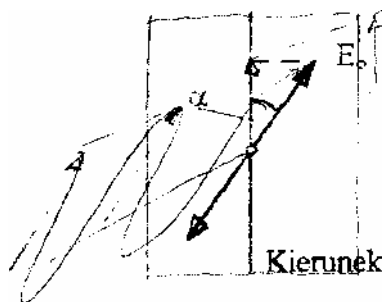
Umawiamy się, że płaszczyznę, w której zachodzą drgania wektora elektrycznego nazywamy płaszczyzną polaryzacji. Zwykle źródła światła emitują promieniowanie w którym występują wszystkie możliwe kierunki polaryzacji (rys. 1b), a więc światło które me jest spolaryzowane. Podczas przejścia przez ośrodek anizotropowy (ośrodek anizotropowy charakteryzuje się tym, że jego własności fizyczne zależą od kierunku) światło może zostać spolaryzowane. Przyczyną polaryzacji jest oddziaływanie fali elektromagnetycznej z ośrodkiem, które to oddziaływanie w prowadzi do zależności prędkości rozchodzenia się fali, od kierunku drgań wektora elektrycznego, a co za tym idzie, zależność współczynnika załamania od kierunku polaryzacji fali lub też zależności współczynnika pochłaniania od kierunku polaryzacji fali. Polaryzacja ma także miejsce podczas odbicia światła. Jeśli promień odbity tworzy z promieniem załamanym kat prosty to promień odbity jest całkowicie spolaryzowany, natomiast promień załamany jest spolaryzowany tylko częściowo. Kąt padania dla którego spełniony jest wyżej wymieniony warunek nazywa się kątem Brewstera – rys. 2. Dla kątów padania różnych od kąta Brewstera promień odbity jest częściowo spolaryzowany. Wymienione wyżej zjawiska wykorzystywane są do budowy polaryzatorów. Abstrahując od zasady działania można się umówić, że urządzenie lub element optyczny, który przetwarza wiązkę światła niespolaryzowanego na spolaryzowane będziemy nazywać polaryzatorem. Kierunek równoległy do kierunku drgań pola elektrycznego fali świetlnej przechodzącej przez polaryzator lub analizator nazywamy kierunkiem przepuszczania lub transmisji polaryzatora czy też analizatora.



Rys.2 Ilustracja zjawiska polaryzacji przez odbicie . Oznaczenia a - wiązka światła niespolaryzowanego, b - promień odbity całkowicie spolaryzowany (w płaszczyźnie prostopadłej do kartki), c - promień załamany.

Prawo Malusa.

Rozpatrzmy przejście światła liniowo spolaryzowanego przez doskonały analizator. Załóżmy, że płaszczyzna polaryzacji wiązki tworzy kąt α z kierunkiem przepuszczania analizatora (rys. 3).



przepuszczania
analizatora

Rys. 3

Oznaczmy amplitudę zmian pola elektrycznego fali elektromagnetycznej przez E_0 . Analizator przepuszcza tylko składową pola elektrycznego równoległą do kierunku transmisji. Tak więc amplituda zmian pola elektrycznego po przejściu przez analizator

$$E = E_0 \cdot \cos \alpha \quad (1)$$

Natężenie fali czyli energia przenoszona przez fale w jednostce czasu przez jednostkę powierzchni jest proporcjonalna do kwadratu amplitudy. W naszym przypadku przyjmujemy, że częstotliwość po przejściu przez analizator nie ulega zmianie (wykluczony przez nas przypadek jest bardzo ciekawy i ma ogromne znaczenie przy badaniu ciał stałych oraz generacji drugiej i wyższych harmonicznych światła - jest przedmiotem optyki nieliniowej). Natężenie wiązki padającej wynosi:

$$I_0 = b \cdot E_0^2, \quad (2)$$

gdzie b jest stałą, natomiast natężenie wiązki po przejściu przez analizator wynosi :

$$I = b \cdot E^2 \quad (3)$$

Wstawiając do równania (3) zależność (1) otrzymamy prawo Malusa :

$$I = b \cdot E_0^2 \cdot \cos^2 \alpha = I_0 \cdot \cos^2 \alpha \quad (4)$$

W polaryzatorze i analizatorze występuje częściowe pochłanianie światła, dlatego I_0 ma sens natężenia światła przechodzącego przez układ, gdy płaszczyzny przepuszczania polaryzatora i analizatora są równoległe.

Obliczmy natężenie wiązki przechodzącej przez polaryzator, gdy pada na niego wiązka światła niespolaryzowanego o natężeniu I_0 . Kąt α w równaniu (4) zmienia się od 0 do π .

Z definicji wartości średniej funkcji wynika, że $\overline{f(x)} = \frac{1}{x} \int_0^x f(x) dx$, dla funkcji o okresie T,

$\overline{f(x)} = \frac{1}{T} \int_0^T f(x) dx$. Funkcja (4) ma okres π , dlatego średnia wartość natężenia

światła po przejściu przez analizator

$$I = \frac{I_0}{\pi} \int_0^{\pi} \cos^2 \alpha d\alpha = \frac{I_0}{2} \quad (5)$$

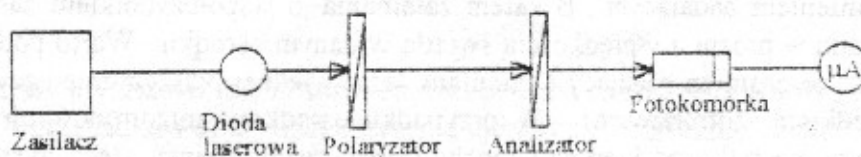
Z dotychczasowych rozważań wynika, że wiązka niespolaryzowana po przejściu przez polaryzator staje się wiązką spolaryzowaną, a jej natężenie jest dwukrotnie mniejsze od natężenia wiązki padającej (5).

Przebieg pomiarów

Układ pomiarowy złożony jest z :

1. źródła światła - diody laserowej wraz z zasilaczem ,
2. polaryzatora,
3. analizatora,
4. fotokomórki oraz amperomierza .

Zestawić układ wg. schematu. Włączyć zasilanie diody laserowej i skierować wiązkę tak, by padała w całości do wnętrza fotokomórki, włączyć mikroamperomierz. Przy ustalonej geometrii układu i nieruchomym polaryzatorze wykonać pomiary zależności natężenia I prądu fotokomórki od kąta skręcenia analizatora. Pomiary wykonać co 10° w przedziale od 0 do 360° .



Schemat układu do sprawdzania prawa Malusa

Opracowanie wyników.

Wykonać wykres zależności $(I - I_{\min}) / (I_{\max} - I_{\min})$ od kąta skręcenia płaszczyzny analizatora. I_{\min} oznacza minimalne natężenie prądu fotokomórki, spowodowane promieniotworem rozproszonym docierającym do fotokomórki oraz niedoskonałością analizatora i polaryzatora, natomiast I_{\max} jest maksymalną wartością prądu. Otrzymany wykres porównać z wykresem funkcji $\cos^2 \alpha$.

Badanie liniowego efektu elektrooptycznego

Wstęp.

Rozwój telekomunikacji optycznej oraz techniki laserowej spowodował zapotrzebowanie na materiały i urządzenia, za pomocą których można sterować wiązką świetlną. Do modulacji wiązki świetlnej najczęściej wykorzystywany jest efekt elektrooptyczny, ponieważ wytworzenie pola elektrycznego o określonej wartości jest znacznie prostsze, niż np. pola magnetycznego. Bardzo ważnym argumentem jest również możliwość bardzo szybkich zmian pola elektrycznego, a więc modulacja światła z bardzo wysoką częstotliwością.

Celem ćwiczenia jest zapoznanie ze zjawiskami, w których objawia się falowa natura światła, podstawowymi pojęciami dotyczącymi własności optycznych ośrodków anizotropowych, liniowym i kwadratowym zjawiskiem elektrooptycznym oraz metoda badania zjawiska elektrooptycznego.

Zjawisko podwójnego załamania światła.

Fala przechodząc przez granicę ośrodków ulega zwykle załamaniu. Współczynnik załamania definiowany jest jako stosunek prędkości fazowych fal w tych ośrodkach. W przypadku światła mamy do czynienia z falą elektromagnetyczną, a współczynnik załamania określa się najczęściej w stosunku do próżni (bezwzględny współczynnik załamania światła). Prawo załamania światła dla ośrodków izotropowych zapisuje się w postaci podanej przez Sneliusa:

$$\sin\alpha / \sin\beta = n = c / v \quad (1)$$

, gdzie: α jest kątem padania promienia to jest kątem pomiędzy normalną do powierzchni i promieniem padającym, β kątem załamania, n współczynnikiem załamania, c prędkością światła w próżni, a v prędkością światła w danym ośrodku. Warto podkreślić dość oczywisty fakt, że promień padający i załamany leżą w jednej płaszczyźnie (gdy mamy do czynienia z ośrodkiem izotropowym). W przypadku ośrodków anizotropowych prędkość fazowa fali zależy nie tylko od kierunku rozchodzenia się promienia, lecz może zależeć od kierunku drgań wektora elektrycznego. Te zależności współczynnika załamania od kierunku propagacji fali opisuje się za pomocą zależności:

$$\frac{x^2}{n_x^2} + \frac{y^2}{n_y^2} + \frac{z^2}{n_z^2} = 1$$

Jest to równanie tzw. indyktrisy a n_x , n_y , n_z , są głównymi współczynnikami załamania. W ośrodkach anizotropowych istnieje przynajmniej jeden taki kierunek rozchodzenia się promienia dla którego prędkość fazowa światła nie zależy od kierunku polaryzacji, kierunek ten nazywamy osią optyczną ośrodka. Jeżeli wiązka światła niespolaryzowanego rozchodzi się w ośrodku optycznie anizotropowym pod pewnym kątem do osi optycznej to ulega rozdzieleniu na dwie. Jedna z tych wiązek leży w płaszczyźnie padania i spełnia prawo Sneliusa, wiązkę tą nazywa się wiązką lub promieniem zwyczajnym. Druga z wiązek leży poza płaszczyzną padania i nazywana jest nadzwyczajną. Współczynnik załamania promienia zwyczajnego

$$n_o = c / v_o \quad (2)$$

natomiast współczynnik załamania promienia nadzwyczajnego oznaczmy przez

$$n_e = c / v_e \quad (3)$$

Występujące w równaniach (2) i (3) wielkości v_o i v_e są prędkościami fazowymi dla promienia zwyczajnego i nadzwyczajnego. Zjawisko podwójnego załamania nazywane jest dwójłomnością.

Ze względu na własności optyczne ciała stałe (kryształy) dzielimy na trzy grupy :

1. Kryształy należące do układu regularnego zachowują się jak ośrodki izotropowe a więc nie obserwuje się w nich podwójnego załamania (przykładem jest sól kuchenna) . W tym przypadku $n_x = n_y = n_z = n_0$ i indykatorysa jest kula o promieniu n_0 .

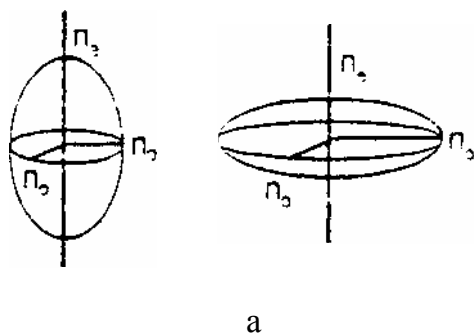
2. W kryształach należących do układu heksagonalnego , trygonalnego i tetragonalnego istnieje jeden kierunek (tzw. oś optyczna) dla którego prędkość fazowa fali świetlnej nie zależy od kierunku polaryzacji - kryształy te nazywa się optycznie jednoosiowymi. Główne współczynniki załamania $n_x = n_y = n_0$ i $n_z = n_e$ i wobec tego indykatorysa jest elipsą obrotową. Oś optyczna jest oś z.

3. W kryształach należących do układu jednoskośnego, trójskośnego i rombego istnieją dwa wyróżnione kierunki (osie optyczne) , kryształy te nazywamy dwuosiowymi . Tutaj mamy $n_x \neq n_y \neq n_z$.

Miarą dwójłomności ośrodka jest różnica pomiędzy współczynnikiem załamania dla promienia zwyczajnego i nadzwyczajnego :

$$\Delta n = n_o - n_e \quad (4)$$

Jeżeli $\Delta n < 0$ to kryształ nazywany jest optycznie dodatnim . natomiast w przypadku $\Delta n > 0$ optycznie ujemnym. Warto jeszcze podkreślić, że promienie zwyczajny i nadzwyczajny są spolaryzowane w kierunkach wzajemnie prostopadłych. Zjawisko to wykorzystuje się do budowy polaryzatorów np. pryzmatów Nicola



Rys. 1 Indykatrysy kryształów jednoosiowych (os optyczna zaznaczona grubszą linią) dla dwóch przypadków a.) kryształ optycznie ujemny i b) optycznie dodatni.

Promienie zwyczajny i nadzwyczajny mogą ze sobą interferować . Jeżeli interferują ze sobą dwie wiązki spolaryzowane liniowo w kierunkach wzajemnie prostopadłych to w wyniku interferencji otrzymujemy wiązkę spolaryzowaną kołowo, eliptycznie lub liniowo w zależności od różnicy faz, tak jak ma to miejsce podczas składania drgań wzajemnie prostopadłych o tej samej częstotliwości.

Jeżeli promień zwyczajny i nadzwyczajny przejdą w kryształe drogę l to różnica faz pomiędzy promieniem zwyczajnym i nadzwyczajnym wynosi

$$\Delta \gamma = (n_e - n_o) 2\pi l / \lambda_0 \quad (5)$$

, gdzie λ_0 jest długością fali w próżni .

Zjawisko elektrooptyczne

Dwójłomność może zostać wywołana (również w ciałach izotropowych) za pomocą czynników zewnętrznych takich jak naprężenia mechaniczne, pole elektryczne lub magnetyczne czy też gradient temperatury. Dwójłomność ośrodka pod nieobecność czynników zewnętrznych nazywa się dwójłomnością spontaniczną, natomiast dwójłomność spowodowana czynnikiem zewnętrznym nazywa się dwójłomnością wymuszoną lub indukowaną . Zmiana dwójłomności wywołana zewnętrznym polem elektrycznym nazywana jest zjawiskiem elektrooptycznym . Jeżeli zmiana dwójłomności $\delta \Delta n$ jest liniową funkcją natężenia pola elektrycznego E to mówimy o liniowym efekcie elektrooptycznym lub o efekcie Pockelsa

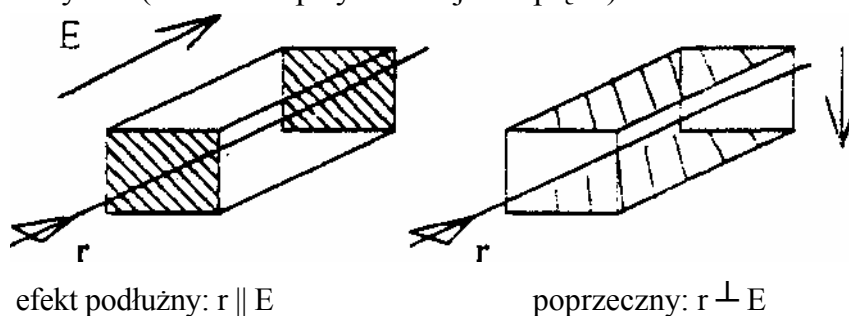
$$\delta \Delta n = rE \quad (6)$$

W przypadku gdy zmiana jest proporcjonalna do kwadratu natężenia pola elektrycznego mamy do czynienia z kwadratowym zjawiskiem elektrooptycznym nazwanym na cześć jego odkrywcy efektem Kerna

$$\delta\Delta n = RE^2 \quad (7)$$

W obu przypadkach może się zmieniać wartość zarówno współczynnika załamania promienia zwyczajnego jak i nadzwyczajnego.

Jeżeli kierunek rozchodzenia się wiązki światła jest równoległy do kierunku zewnętrznego pola elektrycznego, mamy do czynienia z podłużnym zjawiskiem elektrooptycznym, natomiast w przypadku, gdy kierunek pola elektrycznego jest prostopadły do tego promienia - zjawisko nazywamy poprzecznym. Na rys.2 przedstawiono wzajemną orientację kierunku rozchodzenia się wiązki światła i pola elektrycznego w podłużnym i poprzecznym efekcie elektrooptycznym. Powierzchnie zakreskowane symbolizują elektrody naniesione na kryształ (do elektrod przykładane jest napięcie).

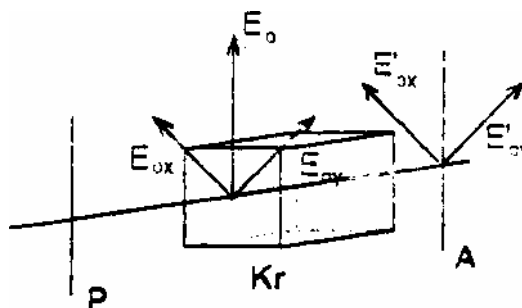


Rys.2 Efekty elektrooptyczne : podłużny i poprzeczny Zaznaczono kierunek biegu wiązki światła r i pola elektrycznego E

Rozpatrzmy przejście wiązki światła spolaryzowanego przez kryształ. Dla prostoty rozważań założmy, że płaszczyzna polaryzacji wiązki tworzy kąt $\pi/2$ z kierunkiem, dla którego współczynnik załamania ma wartość największą przy danym kierunku propagacji wiązki. Wiązka ulega rozdzieleniu na dwie wzajemnie prostopadłe spolaryzowane wiązki. Jeżeli natężenia pola elektrycznego wiązki padającej oznaczymy przez E, to amplitudy pól promienia zwyczajnego E_{0x} i nadzwyczajnego E_{0y} będą jednakowe

$$E_{0x} = E_{0y} = \frac{E_0}{\sqrt{2}} \quad (8)$$

Podczas wejścia do kryształu fazy tych promieni są także jednakowe. Po przejściu przez kryształ fazy te wynoszą γ_x , i γ_y , a ich różnica określona jest równaniem (5). Składowe



Rys.3 Ilustracja do obliczenia natężenia fali świetlnej przy przechodzeniu przez układ polaryzator P, kryształ Kr, analizator A. Na rysunku zaznaczono płaszczyzny transmisji polaryzatora i analizatora.

natężenia pola fal po przejściu przez kryształ są równe :

$$E'_{0x} = \frac{E_0}{\sqrt{2}} \cos(\omega t + \gamma_x) \quad (9)$$

$$E'_{0y} = \frac{E_0}{\sqrt{2}} \cos(\omega t + \gamma_y) \quad (10)$$

Jak już wspomniano fale te interferują dając w wyniku tej interferencji falę spolaryzowaną liniowo, kołowo lub eliptycznie zależnie od różnicy faz $(\gamma_x - \gamma_y)$. Aby obliczyć natężenie wiązki po przejściu przez analizator ustawiony tak, że jego płaszczyzna przepuszczania jest równoległa do płaszczyzny przepuszczania analizatora, zwróćmy uwagę na to, że analizator przepuszcza rzuty tych promieni. Rzuty te są równe

$$E''_x = \frac{E'_x}{\sqrt{2}} = \frac{E_0}{2} \cos(\omega t + \gamma_x) = E''_{0x} \cos(\omega t + \gamma_x) \quad (11)$$

$$E''_y = \frac{E'_y}{\sqrt{2}} = \frac{E_0}{2} \cos(\omega t + \gamma_y) = E''_{0y} \cos(\omega t + \gamma_y) \quad (12)$$

Kwadrat natężenia pola wypadkowego obliczymy tak jak oblicza się amplitudę złożenia dwóch drgań zachodzących w tej samej płaszczyźnie, o jednakowej amplitudzie i jednakowych częstościach (patrz rys. 3):

$$E_0''^2 = E_{0x}''^2 + E_{0y}''^2 + 2E_{0x}''E_{0y}'' \cos(\gamma_x - \gamma_y) \quad (13)$$



Rys. 3 Ilustracja do wzoru (13)

Podstawiając do równania (13) równania (11) i (12) otrzymamy:

$$E_0''^2 = \frac{1}{2} E_0^2 \cdot [\cos(\gamma_x - \gamma_y) + 1] \quad (14)$$

Natężenie wiązki jest jak już wspomniano proporcjonalne do kwadratu amplitudy, a więc stosunek natężenia wiązki wychodzącej z układu do natężenia wiązki padającej uzyskujemy dzieląc prawą stronę równania (14) przez E_0^2 :

$$I_{wyj} / I_0 = \frac{1}{2} [\cos(\gamma_x - \gamma_y) + 1] = \frac{1}{2} [\cos(\Delta\gamma) + 1] \quad (15)$$

Jeżeli dwójłomność wywołana jest przez liniowe zjawisko elektrooptyczne to korzystając z równań (5) i (6) otrzymamy:

$$\Delta\gamma = (n_e - n_o) 2\pi d / \lambda_0 = rE 2\pi d / \lambda_0 \quad (16)$$

W elektrooptyce stosowane jest oznaczenie $\Delta\Gamma$ zamiast $\Delta\gamma$.

Napięcie potrzebne do wywołania różnicy faz $\Delta\Gamma = \pi$, czyli napięcie potrzebne do przejścia od całkowitego wygaszenia do maksymalnego rozjaśnienia nazywane jest napięciem półfali - $U_{1/2}$. Z równania (16) po skorzystaniu z warunku $\Delta\Gamma = \pi$ i z tego, że $U = Ed$, gdzie d jest odległością między elektrodami mamy:

$$\pi = \frac{2\pi U_{1/2}}{d\lambda_0}$$

i po przekształceniu powyższego równania otrzymujemy:

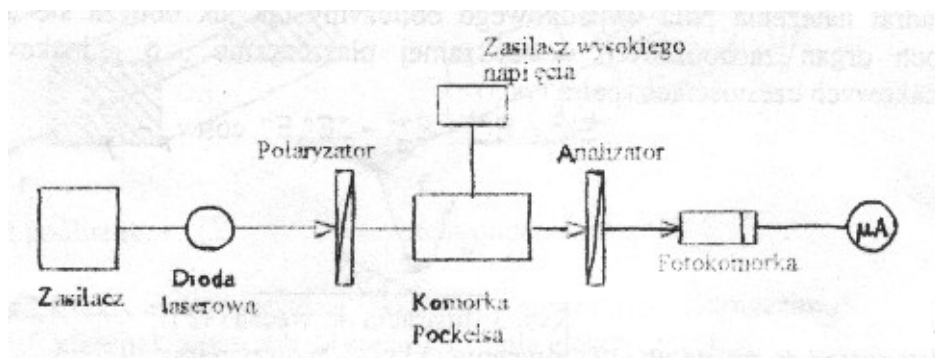
$$U_{1/2} = \lambda_0 d / 2rl \quad (17)$$

Napięcie półfali podawane jest zwyczajowo w V/cm. Jeżeli korzystamy z podłużnego efektu elektrooptycznego to długość drogi l jaką przebywa promień światła jest równa odległości pomiędzy elektrodami d i napięcie półfali nie zależy od wymiarów kryształu. W przypadku zjawiska poprzecznego napięcie to jest wprost proporcjonalne do odległości pomiędzy elektrodami i odwrotnie proporcjonalne do drogi optycznej. Tak więc wygodniej jest korzystać z efektu poprzecznego, ponieważ wydłużając drogę optyczną i zmniejszając grubość kryształu można znacznie zmniejszyć napięcie potrzebne do sterowania wiązką świetlną.

Na zakończenie warto zaznaczyć, że optyka ośrodków anizotropowych jest zagadnieniem bardzo skomplikowanym, któremu poświęcono kilkanaście monografii. Niniejsze opracowanie ma na celu wyjaśnienie niektórych zjawisk optycznych występujących w ośrodkach anizotropowych, a prostotę opisu uzyskano kosztem ograniczenia zakresu omawianych zagadnień oraz znacznych uproszczeń. Zainteresowanych przedstawionymi tu problemami odsyłam do podręczników z optyki lub monografii.

Przebieg ćwiczenia.

1. Zestawić układ zgodnie ze schematem .



2. Podłączyć do sieci amperomierz oraz zasilacz wysokiego napięcia oraz zasilanie diody laserowej .
3. Wyjustować układ tak aby promień emitowany przez diodę po przejściu przez polaryzator, komórkę Pockelsa i analizator trafiał do wnętrza fotokomórki.
4. Ustawić polaryzator pod kątem 45° do pola elektrycznego w komórce Pockelsa.
5. Ustawić polaryzator tak by prąd fotokomórki osiągnął wartość minimalną (prąd ciemny - pochodzący od promieniowana rozproszonego dochodzącego do fotokomórki).
6. Wykonać pomiary zależności natężenia prądu fotokomórki od napięcia przykładanego do komórki Pockelsa w zakresie napięć $-1600V$ do $+1600V$.

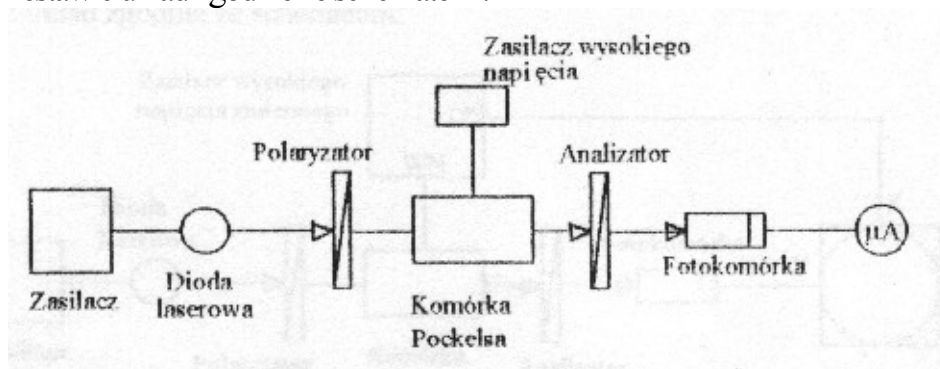
Opracowanie wyników.

1. Wykonać wykres zależności $I_f - I_0$, gdzie I_f - natężenie prądu fotokomórki, I_0 - prąd ciemny, od napięcia przykładanego do fotokomórki. Z wykresu oszacować napięcie półfali. Otrzymany wykres porównać z zależnością (16) oraz wyznaczyć wartość współczynnika r . Dane : długość kryształu 26

mm, odległość pomiędzy elektrodami - grubość kryształu 4,5 mm, $\lambda = 670$ nm.

Badanie efektu Pockelsa - przebieg ćwiczenia

1. Zestawić układ zgodnie ze schematem .



2. Podłączyć do sieci amperomierz, zasilacz wysokiego napięcia oraz zasilanie diody laserowej.
3. Wyjustować układ tak aby promień emitowany przez diodę po przejściu przez polaryzator, komórkę Pockelsa i analizator trafiał do wnętrza fotoogniwa .
4. Ustawić polaryzator pod kątem 45° do kierunku pola elektrycznego przykładanego do kryształu umieszczanego wewnątrz komórki Pockelsa (kierunek pola zaznaczony jest na obudowie komórki) .
5. Ustawić analizator tak by prąd fotokomórki osiągnął wartość minimalną.
6. Wykonać pomiary zależności natężenia prądu fotokomórki od napięcia przykładanego do komórki Pockelsa w zakresie napięć -1000V do +1000V co 100V.

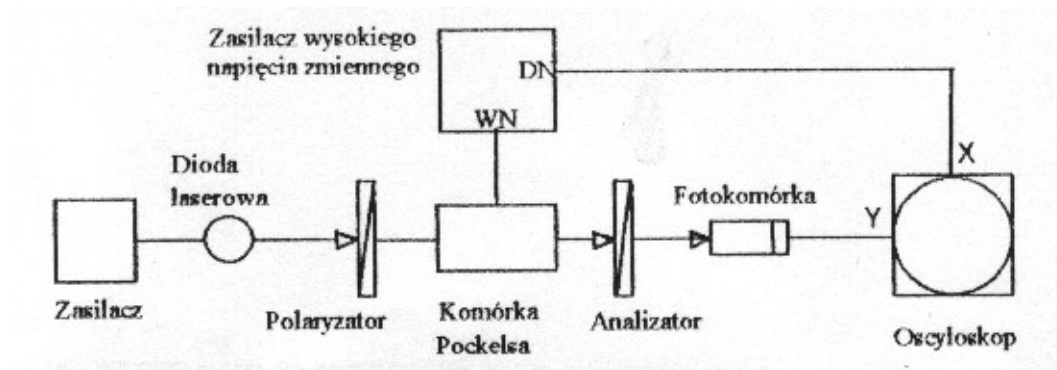
Uwaga: przyłożenie napięcia powyżej 2000V grozi przebiciem kryształu i zniszczeniem komórki!

Opracowanie wyników

1. Wykonać wykres zależności $I_f - T_0$, gdzie I_f - natężenie prądu fotokomórki, I_0 - prąd ciemny od napięcia przykładanego do fotokomórki . Z wykresu oszacować napięcie półfali . Otrzymany wykres porównać z zależnością (16) - wyznaczyć wartość współczynnika k w równaniu (19). Dane : długość kryształu 28 mm, odległość pomiędzy elektrodami - grubość kryształu 3mm

Obserwacje oscyloskopowe charakterystyk komórki Pockelsa.

1. Zestawić układ zgodnie ze schematem:



WN – wysokie napięcie, DN – dzielnik napięcia 1:100

2. Przebieg ćwiczenia.

Zaobserwować i naszkicować zależności transmisji układu od napięcia odpowiadające im zależności transmisji układu od czasu $I = f(t)$.

Obserwacje przeprowadzić :

- dla kilku różnych wartości napięcia przykładanego do komórki Pockelsa,
- dla kilku różnych kątów skręcenia polaryzatora przy ustalonym napięciu.

3. Opracowanie oscylogramów.

a) Wyjaśnić kształt zależności $I = f(t)$ - powiązać z zależnościami $I = f(U)$.

b) Wyjaśnić dlaczego dla odpowiednio wysokich napięć częstość modulacji światła jest dwukrotnie wyższa od częstotliwości pola elektrycznego przykładanego do komórki Pockelsa.

Uwagi:

1. woltomierz zasilacza mierzy amplitudę napięcia.
2. komórka Pockelsa wykonana jest z ferroelektryka – istnieje przesunięcie fazowe pomiędzy napięciem i polaryzacją co powoduje histerezę w zależności prąd fotokomórki – napięcie.
3. napięcie półfali $U_{1/2} = 700V$